

35年経過した鋼橋の外ケーブル補強実験

開発土木研究所 金子 学  
 開発土木研究所 谷本 俊充  
 北海道開発コンサルタント(株) 菅原登志也  
 日本橋梁(株) 設楽 正次

1. はじめに

既設橋梁の耐荷力向上には、種々の補強工法が適用されているが、これらは現場施工上の多くの課題を有している<sup>1)</sup>。外ケーブルによって既設橋梁にプレストレスを与え、応力分布を改善する「外ケーブル工法」は、従来の補強工法に比べて多くの利点があるが、適用実績は必ずしも多くないのが現状である。

本研究は、既設橋梁の主桁耐荷力向上のために外ケーブル工法を用いた場合の、応力分布の変化、ケーブル定着部の応力性状、各種ケーブル部材の特性、施工上の留意点などの検討を通じて、実用的な外ケーブル補強工法の確立を目指すものである。検討対象の橋梁形式は、最も件数が多く、耐荷力改善工法の早急な確立が望まれる単純桁橋としている。

一般国道228号が上磯町で大野川を渡る地点にある有川橋は、支間24mの単純合成桁4連からなる橋梁で、供用開始後35年を経過したものである。平成7年に、老朽化に対処するため、河川改修計画に合わせて、4径間連続鋼床版箱桁橋に架け換えられることとなった。

旧橋は、昭和31年制定の鋼道路橋設計示方書で設計されたものであり、35年間の交通荷重履歴を受けていることや、橋梁形式などが、本研究の対象としてきわめてふさわしいものであることから、撤去された主桁部材を載荷実験の供試体として用いることとした。旧有川橋の、撤去前断面図を図-1に示す。

本文は、これら載荷実験の概要と結果および、数値計算による解析結果について報告するとともに、この実験を通じて得た、外ケーブル補強工法に関する設計上の留意点を述べるものである。

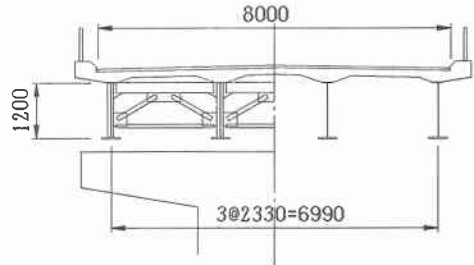


図-1 旧有川橋一般断面図

2. 実験の概要

1) 目的

実験の主な目的は、①設計対象となる物理量を測定し設計法を検証する、②局所的な応力分布を求め応力集中箇所やその大きさを調査する、③現実的に使用可能なケーブルについてプレストレス導入時の施工性や特性を調査する、こととした。

2) 供試体

実験では、挙動が簡明で明確な結果が得られるよう、コンクリート床版を除去した単桁部材を供試体とした。供試体は、旧橋の外桁支間中央ブロック(長さ12m)とし、載荷時に高応力を発生させて非線形域に達するよう、上下を反転させて載荷することとした。供試体代表形状を図-2に、実験内容を表-1に示す。

既設橋梁において、ケーブルをウェブに沿わせて曲げ上げ配置することは、施工上困難な場合が多いと考えられるため、本実験においても直線配置のみを対象とした。プレストレスは、供試体を載荷装置に設置した後に、PC鋼棒はPCウェルジャッキで、PWSではセンターホールジャッキでそれぞれ導入した。

An experimental study of strengthening with externally prestress utilizing 35 years served steel bridge members by Manabu KANEKO, Toshimitsu TANIMOTO, Toshiya SUGAHARA and Masaji SHITARA

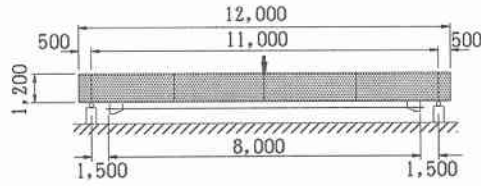


図-2 供試体の代表形状 (T3, T4)

表-1 供試体と実験内容

No.	供試体補強方法	ケーブル材料	ケーブル配置	載荷試験	目的
T1	なし	—	—	静的	補強前の基準値の測定
T2	増しフランジ	—	—	静的	別工法による補強効果の検討
T3	外ケーブル	PC鋼棒	下フランジ	静的/疲労	補強効果と標準PS材の特性把握
T4	外ケーブル	PWS	下フランジ	静的	補強効果とPS材の特性比較
T5	外ケーブル	PC鋼棒	腹板両側	静的	ケーブル位置の影響の検討

### 3) ケーブル

一般にケーブル材料としては、PC鋼より線、PC鋼棒、ワイヤーロープ、PWSなどがあるが、プレストレス材として多くの実績を有するPC鋼棒を標準として選定した。市場サイズから、PC鋼より線は小さな荷重域で、PWSは逆にPC鋼棒より大きいプレストレスに対応すると考えた。

本実験では、φ32のPC鋼棒でプレストレスを導入するのが基本とし、特性比較のためT4供試体ではPWS (PWS-37) を採用した。

### 4) 静的載荷とプレストレスの決定

本実験では、応力超過となった既設橋梁の耐力増強工法の検討を目的としている。そのため、プレストレス力は、L20荷重で設計された支間25m程度の主桁部材がB活荷重で照査される場合を想定し、この超過分に対応できるように決定した。この結果、プレストレス力は、35tf~40tfとなった。

静的載荷荷重は、下フランジ (SS400) の応力度が、プレストレス導入下で許容応力度に到達するのを基本として決定した。また、これ以降は荷重ひずみ関係に非線形性が現れるまで載荷することとした。

### 5) 動的載荷

ケーブルおよびケーブル定着部は、超過応力度に対応する部材であり、応力変動が大きくなる。特に定着部は、応力の急変や集中を生じやすく疲労損傷のおそれがあると考えられた。そのため、FEM解析で応力分布を調査するとともに、繰り返し載荷試験を行って安全性を確認することとした。

載荷荷重は、供用されている橋梁部材の応力状態を再現できるよう考慮した。すなわち、支間25m程度の主桁部材が、標準的な疲労荷重を受けた場合の応力を算定し、この応力を発生させることのできる荷重強度に換算した。疲労荷重単位としては、JSSCの疲労設計指針・同解説に準じて、T荷重1台を考慮した。

### 6) 測定項目

計測項目は、上下フランジとウェブのひずみ、桁のたわみ、およびケーブル張力とした。ケーブル張力は、ロードセルおよびジャッキの圧力計、ケーブルに貼り付けたひずみゲージによって管理した。

## 3. 静的実験結果

図-3~図-5に、T3、T4、およびT5供試体の静的載荷試験による支間中央断面応力度の実験値と計算値を、図-6に外ケーブルの応力度を示す。

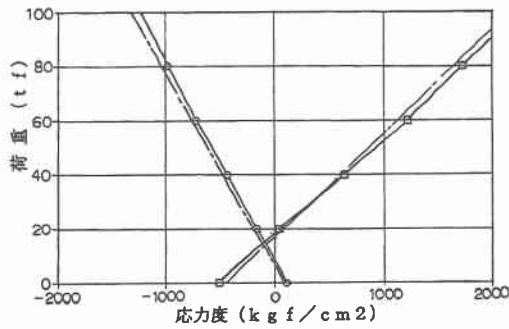


図-3 T3 荷重-応力度関係 (支間中央)

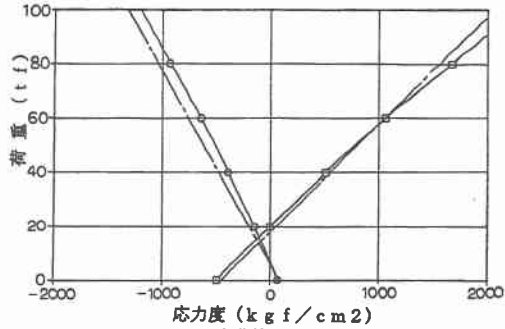


図-4 T4 荷重-応力度関係 (支間中央)

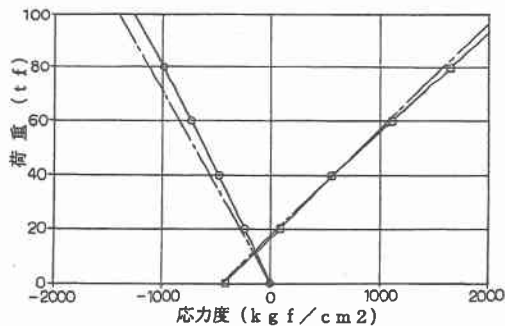


図-5 T5 荷重-応力度関係 (支間中央)

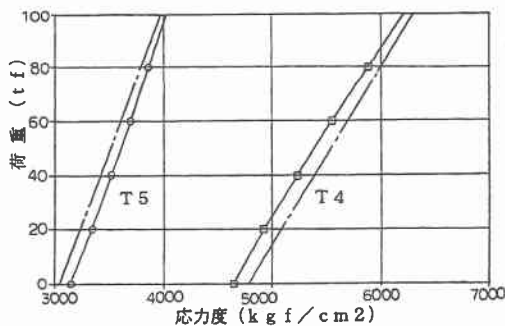


図-6 ケーブル荷重-応力度関係

主桁応力度の結果が示すように、高荷重域で実験値と計算値が多少異なる。これは、供試体に既設桁を使用したことによる、主桁の中立軸の誤差による影響と考えられるが有意な差ではない。また、ケーブルの応力度の結果が示すように、増加プレストレスによる応力度が実験値と計算値で3%程度異なるが、傾向は良く一致している。

ケーブル配置およびケーブル材料の違いによる特性から、桁へのプレストレス効果に影響が無いか問題視されたが、異なる供試体の応力性状は良く一致していることから、特性によるプレストレス効果に影響は無いことが確認された。

定着部付近腹板は、ケーブル定着部からの反力が集中するため、応力の急変や応力集中の発生が懸念された。そこで、実験と併行して、FEM解析を行い定着部付近の応力性状を把握した。定着ブラケットはHTB接合としているため、種々の接合条件でFEM解析を行った。

図-7にT4供試体の120t静的載荷試験時の定着部付近腹板の平面応力度を示した。この結果が示すように、既設構造に悪影響を及ぼすような応力集中は確認されなかった。また、定着ブラケットおよび補強リブの応力度は、①  $-473 \text{ kgf/cm}^2$ 、②  $136 \text{ kgf/cm}^2$ 、③  $-410 \text{ kgf/cm}^2$ であった。実験結果が示すように、左右の補強リブで応力度が異なっているが、その結果としてはFEM解析結果と良く一致していた。簡易モデルによる数値計算では、左右の補強リブは同じ応力度が作用するとしているが、左右の実験応力度とも設計応力度 ( $534 \text{ kgf/cm}^2$ ) より小さいことから問題ないとした。

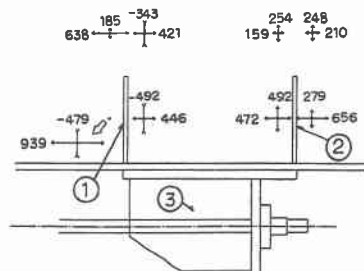


図-7 定着部付近応力度

#### 4. 疲労実験結果

実験では、ケーブルの応力変動幅を最大約300 kgf/cm<sup>2</sup>とした。図-8にT3供試体の200万回繰り返し載荷試験前後に行った、静的載荷試験におけるスパン中央下フランジの載荷荷重と応力度の関係をグラフに示した。

この結果から、供試体の応力度性状は、繰り返し試験による劣化が生じていないことがわかる。また、定着部付近は、目視にて疲労損傷がないことを確認した。よって、応力超過となった既設橋梁の耐荷力増強を目的とした場合、標準的な活荷重の繰り返し載荷による疲労に対して安全であることが確認できた。

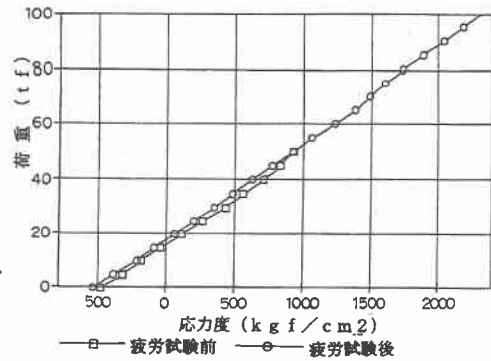


図-8 T3荷重-応力度関係

#### 5. 設計法と実験結果の比較

静的および動的載荷試験の結果に示したように、実験値と梁理論にて計算した計算値が良く一致していることから、スパン中央においてプレストレスの効果が桁に伝達していることが確認された。したがって、今回の計算値の前提とした以下の事項について、その妥当性を確認することができた。

- ①プレストレスにより生じる応力度は、曲げ応力度と軸圧縮応力度を考慮する。
- ②曲げ応力度は主桁中立軸から、ケーブル中心までの距離に作用させた曲げモーメントにより算出する。
- ③軸力による圧縮応力度は、鋼桁部全断面積を有効とする。
- ④活荷重による増加プレストレスによる応力度を考慮する。桁とケーブルのひずみ量を同じとし、活荷重重載荷時の桁のひずみ量より、ケーブルのひずみ量を求め増加プレストレスを計算する。

上記①～④より、活荷重による超過引張応力度を相殺するための、圧縮応力度を生じさせるプレストレス量を算定した。また、初期プレストレス量は、活荷重による増加プレストレスを考慮し決定した。

#### 6. あとがき

今回、単径間鋼板桁における主桁耐荷力の改善工法として、外ケーブル補強工法を実用化するにあたり、検討課題の安全性と設計法の検証を目的として、より実態に近い35年間供用後の既設桁を用いた載荷試験を行った。既に詳述した結果から、本補強工法の妥当性を確認することができた。また、ケーブル材およびケーブル配置による特性による影響が無いことから、ケーブル選定時は、プレストレス量と経済性にて決定してよいと考えられる。よって、現状では、下フランジにPC鋼棒を採用する構造が経済性、施工性、実績などで優れていると考えられる。設計法は今回の対象橋梁においても問題ないことが確認できた。

今後の課題としては、ケーブル材の防錆方法、ケーブル材の振動対策、プレストレス導入時の管理などが考えられる。これらを明確にし、外ケーブル補強工法の実用化に対応可能なマニュアルの作成を考えている。

最後に、本実験を行うにあたり御指導、御協力をいただいた関係各位に対し厚く感謝します。

#### <参考文献>

- 1) 佐藤, 金子, 奥野, 設案: 単径間鋼板桁の外ケーブルの適用性について, 土木学会北海道支部論文報告集 第51号, 1995.2
- 2) 日本構造協会: 鋼構造物の疲労設計指針・同解説 1993.4
- 3) 日本構造協会: 橋梁用高力ボルト引張接合設計指針(案) 1994.5